

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ β-ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-15Mo-5Zr-3Al МЕТОДАМИ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В СОЧЕТАНИИ С ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Медведев А.Е.

Руководитель – с.н.с., к.т.н. Семёнова И.П.

Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет
sshmedvedev@mail.ru

Титан и его сплавы широко применяются как конструкционные материалы во многих отраслях промышленности, в том числе и в автомобилестроении. Такая популярность объясняется, в первую очередь, малым удельным весом, высокими прочностными свойствами при отсутствии хладноломкости, наличием высокой коррозионной стойкости, даже в агрессивных средах [1]. Особый интерес вызывают β-титановые сплавы, которые, кроме того, отличаются хорошей технологичностью и деформируемостью [2]. Совокупность всех этих свойств позволяет использовать полуфабрикаты из β-титановых сплавов для изготовления различных деталей крепления в авиационной и автомобильной технике. Известно, что β-сплавы прекрасно упрочняются термической обработкой за счет распада метастабильной β-фазы при старении с выделением дисперсных частиц вторых фаз, в результате чего прочность может достигать уровня 1300...1400 МПа [3,4]. Однако сплавы с такой прочностью имеют ограниченное применение из-за пониженной пластичности, которая контролируется размером β-зерна, а также морфологией и распределением вторичных фаз. Известно, что одним из эффективных способов повышения механических свойств в металлах и сплавах является формирование в них ультрамелкозернистой (УМЗ) методами интенсивной пластической деформации (ИПД) [5], а также применение наряду с этим термической обработки для дополнительного дисперсионного упрочнения.

В данной работе исследовалось влияние РКУ прессования, а также его комбинации с термической обработкой на структуру и механические свойства β-титанового сплава Ti-15Mo-5Zr-3Al.

Исследование микроструктуры проводилась методами растровой электронной микроскопии (РЭМ), механические свойства оценивались по результатам механических испытаний на растяжение, а также на основании значений микротвердости.

Обнаружено, что в состоянии поставки в структуре материала не выявляются границы β-зерен, видно большое количество линий течения (рис. 1) деформационного происхождения, что связано с технологией

получения данных прутков. Прочность сплава составила 990 МПа при относительном удлинении 24 %.

На основании результатов реологических тестов, а также анализа литературных данных [6], были выбраны режимы деформационной и термической обработки. Результаты механических испытаний после различных режимов обработки представлены в таблице 1.

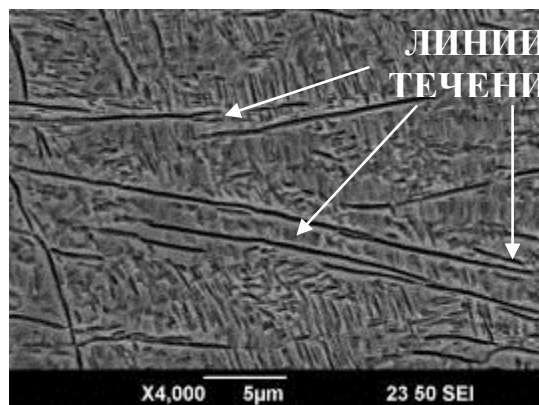


Рисунок 1. Микроструктура титанового сплава Ti-15Mo-5Zr-3Al в состоянии поставки

Применение РКУ прессования заготовок при 350 °С (до выделения ω -фазы) позволило повысить предел прочности до 1200 МПа (состояние 3 в табл. 1) с сохранением удовлетворительной пластичности, однако, последующее старение привело к заметному охрупчиванию материала (состояние 4), по-видимому, за счет выделения большой доли частиц вторичной α -фазы. Дополнительное старение при 600 °С в течение 1 часа привело к некоторому падению прочности и одновременному росту пластичности, по-видимому, вследствие увеличения размера частиц и уменьшения их объемной доли в результате коагуляции (состояние 5).

Поскольку режим термообработки сплава [4] подразумевает неполную закалку с температуры 735 °С с последующим старением при 500 °С в течение 16 часов, следующим этапом исследования стало изучение влияния температуры и времени выдержки при старении на микротвердость и структуру сплава после закалки с 735 °С и РКУ прессования (1 проход). Результаты представлены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что РКУП усиливает эффект старения сплава при более низкой температуре (450 °С) и меньшей продолжительности нагрева (8 часов). Максимальное значение микротвердости (5270 МПа) наблюдали в образцах после закалки с температуры 735 °С с последующим РКУ прессованием (1 проход) и старением при 450 °С в течение 8 часов. В результате структурных исследований было установлено, что после РКУП и старения значительно увеличивается объемная доля выделений частиц α -фазы и уменьшается их размер по сравнению со стандартным режимом

термообработки. Это можно объяснить накоплением большого числа дефектов кристаллической решетки после РКУП, которые являются энергетически наиболее выгодным местом выделений второй фазы. На рис. 3 видно влияние температуры старения РКУП-образцов (450 °С и 500 °С) при выдержке 8 часов на размер выделений вторичной α -фазы.

Таблица 1.

№ состояния	Состояние	Фазовый состав	HV, МПа	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %
1	Поставки (СП)	β	3360	990	980	24
2	СП + Старение 500 °С 16 ч	$\beta + \alpha_{BT}$	4400	1400	1370	13
3	СП + РКУП 350 °С (1 пр.)	β	3740	1200	1170	12
4	СП + РКУП 350 °С (1 пр.) + старение 500 °С 16 ч	$\beta + \alpha_{BT}$	4590	1475	-	-
5	СП + РКУП 350 °С (1 пр.) + старение 500 °С 16 ч + старение 600 °С 1 ч	$\beta + \alpha_{BT}$	4060	1325	1320	10,5

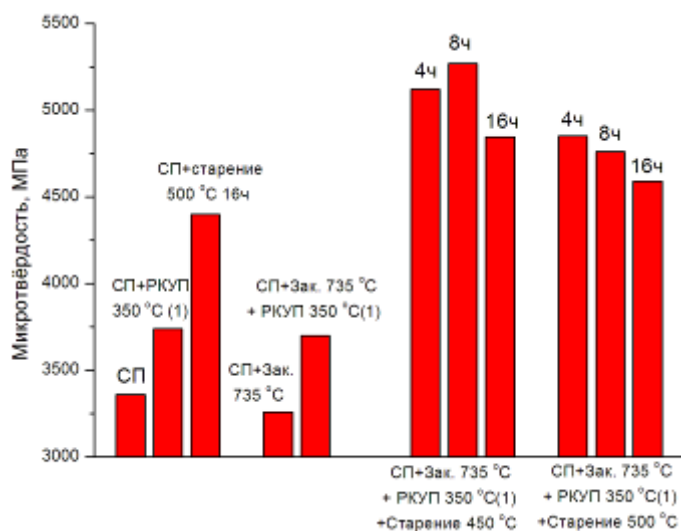


Рисунок 2. Зависимость микротвердости сплава от режима деформационной и термической обработки

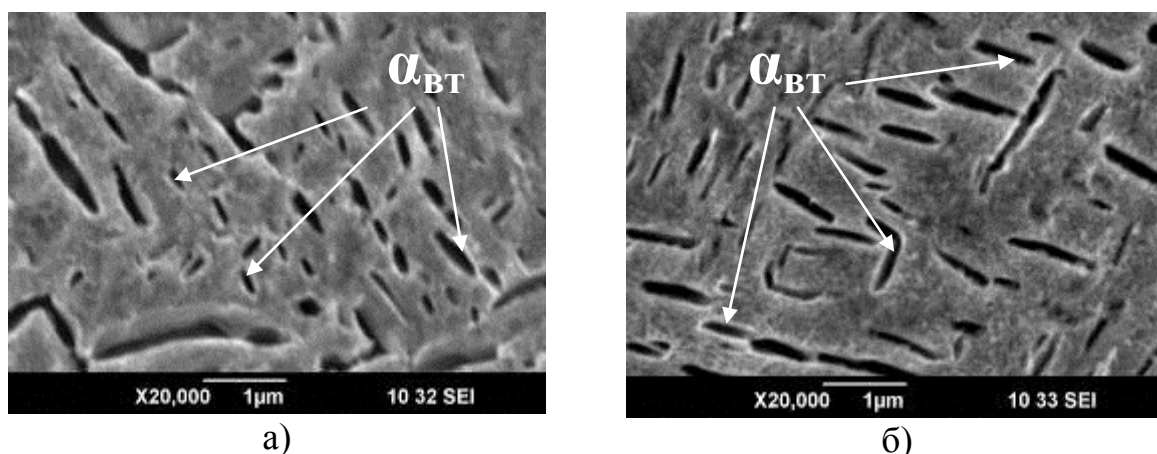


Рисунок 3. Микроструктура сплава Ti-15Mo-5Zr-3Al после закалки с 735 °С, последующего РКУ прессования при 350 °С (1 пр.) и старения в течение 8 ч при а) 450 °С, б) 500 °С

Таким образом, в данной работе показана принципиальная возможность достижения высоких механических свойств в β-сплаве Ti-15Mo-5Zr-3Al с использованием РКУП и последующего старения. При этом установлено, что эффект упрочнения при старении сплава после РКУП проявляется при более низких температурах, при этом достигаемая в сплаве прочности превышает прочность после обычной термообработки (закалка 735 °С + старение 500 °С 16 часов).

Список используемых источников:

1. Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт Материаловедение, М.: Металлургия, 1989. 456 с.
2. Е.В. Коллингз, Физическое металловедение титановых сплавов: Пер. с англ./ Под редакцией Веркина Б.И., Москаленко В.А. - М.: Металлургия, 1988.
3. O.M. Ivasishin, S. Fox, in: N.J. Kim, C.S. Lee, D. Eylon (Eds.), LiMAT 2001, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea, 2001, pp. 57–64.
4. O.M. Ivasishin, P.E. Markovsky, P.G. Allen, Yu.V. Matviychuk, D.G. Sawwakin, in: Titanium'99: Science and Technology, Proceedings of the 9th World Conference, vol. 1, CRISM "Prometey", St. Petersburg, Russia, 2000, pp. 505–512.
5. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. – М.: ИКЦ «Академкнига». 2007. - 398 с.
6. T. Nishimura, M. Nishigaki, Y. Moriguchi, Characteristics of Beta Titanium Alloy Ti-15Mo-5Zr-3Al, Titanium and It's Alloys, Vol.32, No.1.